

**ANALISIS PENGASUTAN ARUS PADA MOTOR MESIN
RADIATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH
SURAKARTA**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh :
IRVA KHOIRUNNISA
D 400 181 162**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS PENGASUTAN MOTOR MESIN RADIATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH SURAKARTA

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

IRVA KHOIRUNNISA

D400 181 162

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:


Dekan Pembimbing
Umar, S.T., M.T
NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENGASUTAN MOTOR MESIN RADIATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH SURAKARTA

OLEH

IRVA KHOIRUNNISA
D400 181 162

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji




Fakultas TEKNIK

Universitas Muhammadiyah Surakarta


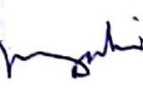
Pada hari Senin, 30-12 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. UMAR, ST., M.T (.....)
(Ketua Dewan Penguji)
2. ARIS BUDIMAN, S.T., M.T (.....)
(Anggota I Dewan Penguji)
3. TINDYO PRASETYO, S.T., M.T (.....)
(Anggota II Dewan Penguji)

Dekan,



Ir. Sri Simarjono, M.T, Ph.D
NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 20 Desember 2019

Penulis



IRVA KHOIRUNNISA

D400 181 162

ANALISIS PENGASUTAN ARUS PADA MOTOR MESIN RADIATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH

Abstrak

Motor Induksi merupakan salah satu komponen terpenting dalam sistem pembangkitan. Motor induksi digunakan sebagai alat bantu untuk melaksanakan proses pembangkitan listrik itu sendiri. Oleh karena itu perlu dilakukan perlakuan khusus motor induksi tersebut agar dapat berjalan secara optimal dan tidak mengganggu dalam proses sistem pembangkitan. Perlakuan khusus yang perlu diperhatikan pada motor induksi adalah tegangan dan arusnya. Saat menghidupkan motor induksi, tegangan dan arus akan berubah dengan drastis, yaitu tegangan akan sangat turun sedangkan arus akan meningkat. Tegangan yang turun akan mengakibatkan jatuh tegangan yang dapat menyebabkan peralatan rusak dan untuk arus yang tinggi dapat mengakibatkan tidak stabilnya busbar, sehingga mempengaruhi keseluruhan sistem, untuk itu perlu dilakukan *soft starting* agar saat penghidupan motor induksi tidak terjadi jatuh tegangan dan arus yang lebih pada busbar. Starting sebelum menggunakan metode pengasutan sebesar 63,8A, untuk starting dengan metode pengasutan star-delta sebesar 23,A dan untuk starting metode VFD 11,61A.

Kata kunci : Tegangan, Arus, Pengasutan, VFD

Abstract

Induction Motor is one of the most important components in the generation system. Induction motor is used as a tool to carry out the electricity generation process itself. Therefore it is necessary to do special treatment of the induction motor so that it can run optimally and not interfere in the process of the generation system. Special treatment that needs to be considered on the induction motor is the voltage and current. When turning on the induction motor, the voltage and current will change drastically, i.e. the voltage will decrease greatly while the current will increase. A reduced voltage will result in a voltage drop which can cause equipment damage and for high currents it can result in an unstable busbar, thus affecting the entire system. For that reason, it is necessary to do a soft starting so that during the induction motor life, no voltage drop and more current will occur on the busbar. Start before using the starting method of 63,8A, to start with the star-delta starting method of 23A and to start the VFD method of 11,61A.

Keywords: Voltage, Current, Star-Delta Sedition, VFD

1. PENDAHULUAN

Zaman globalisasi seperti sekarang ini, perlu adanya suatu energi terbarukan untuk menjaga kelestarian bumi. Minyak bumi memang penyumbang terbesar dari

pemanasan global dan perubahan iklim sekarang ini. Untuk itu, diperlukan suatu pembangkit yang menggunakan energi terbarukan yang terbukti ramah lingkungan.

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan. Pembangkit ini memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar yang nantinya akan menghasilkan panas untuk menghidupkan mesin diesel atau mesin generator. Sistem pembangkit ini merupakan sistem *miniplane* 150kW yang merupakan sistem perancangan pembangkit yang nantinya akan dibuat lebih besar yaitu 5MW.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah mempunyai beberapa alat bantu untuk menjalankan proses pembangkitan berupa mesin motor induksi, mulai dari mesin pemilah sampahnya hingga motor mesin radiator sebagai pendingin dieselnnya.

Mesin motor radiator pada PLTSa merupakan mesin motor induksi dengan kapasitas 5.5kW atau 7.5 HP. Motor ini merupakan alat bantu pembangkit yang terbesar kapasitasnya, sehingga nantinya akan sangat berpengaruh pada sistem ketika *starting*.

Salah satu persoalan yang timbul pada starting pengoperasian motor induksi adalah arus pengasutan yang tinggi yang nilainya bisa mencapai sepuluh kali arus nominal. (Budi Yanto Husodo dan Habibul Irsyad, 2017). Pengoperasian motor tanpa pengasutan disebut dengan DOL (*Direct On Line*). Torsi awal cenderung 0,75 hingga 2 kali beban penuh torsi. Untuk menghindari penurunan tegangan yang berlebihan dan arus awal yang tinggi, pengoperasian metode DOL hanya digunakan untuk motor dengan rating kurang dari 5KW (Dr. Inaam Ibrahim).

Arus start motor yang sangat besar akan menyebabkan turunnya tegangan atau kedip tegangan. Sehingga diperlukan pengasutan motor induksi 3 fasa metode bintang-segitiga untuk mengantisipasi besarnya arus start motor (Muhammad Dedy P, 2017).

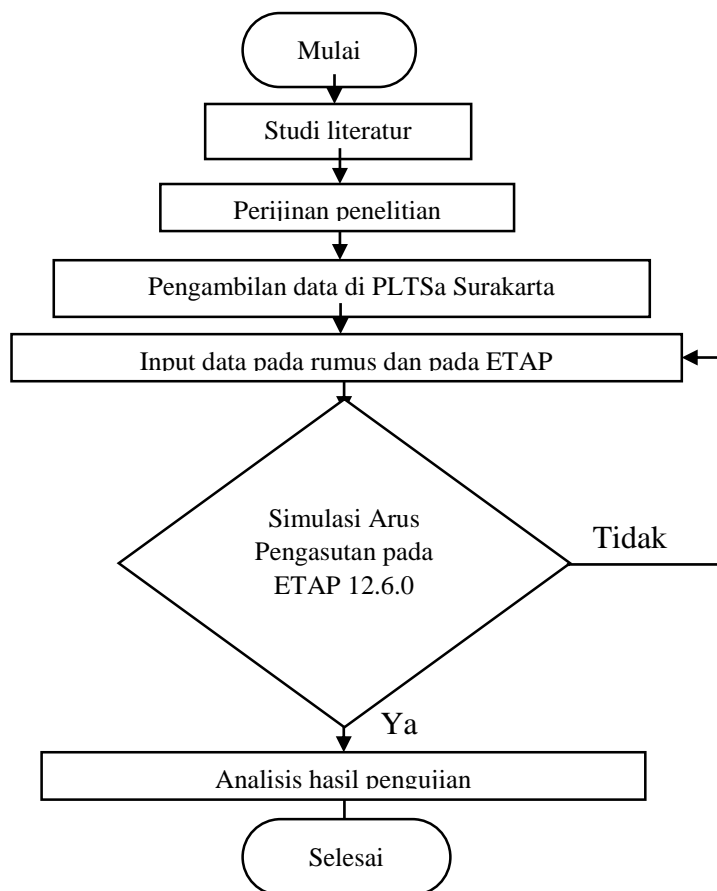
Pengasutan lain yang dapat dilakukan untuk starting motor adalah dengan cara VFD (*Variable Frequency Drive*). Pengasutan ini membutuhkan peralatan bantu lain seperti inverter. Variable Frequency Drive adalah peralatan yang dapat digunakan untuk mengatur kecepatan motor dengan mengubah frekuensi yang akan

menjadi sumber daripada motor induksi tersebut. *Variable Voltage Variable Frequency* merupakan pengubah tegangan sekaligus pengubah frekuensi untuk mengatur kecepatan serta sebagai starting motor yang halus, sehingga mampu menjaga keandalan serta umur motor yang semakin lama karena meminimalisir arus starting motor yang besar. (Sofyar, 2016).

Starting motor induksi menggunakan VFD ini dapat mengurangi arus hingga 150% dari FLA(*Full Load Ampere*) atau 4 kali lebih kecil dari arus nominalnya. (Xiadong Liang, dkk 2007).

Namun pada pembahasan arus pengasutan ini, perhitungan arus VFD secara perhitungan tidak dilakukan karena beberapa parameter tidak diketahui dalam *nameplate* motor. Arus pengasutan hanya dilihat dari simulasi pada ETAP sebagai perbandingan. VFD merupakan pengembangan lebih modernnya pengasutan, namun memerlukan alat yang lebih mahal.

2. METODE



Gambar 1. Diagram alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Name Plate Mesin Motor Radiator

Table 1. Name Plate Mesin Motor Radiator

No	Besaran	Nilai
1	Daya	5,5 kW/7.5 HP
2	Y/D	380 / 660 V
3	Kecepatan	1000 rpm
4	Faktor Daya	0,77
5	Frekuensi	50 Hz
6	Arus	12,9 / 7,4 A
7	Code Letter	F



Gambar 2. Motor Induksi

3.2 Analisis Arus Starting Motor

3.2.1 Arus Starting DOL (*Direct On Line*)

Penentuan arus starting sebelum di lakukan pengasutan dapat dilakukan dengan cara melihat *nameplate* yang tertera pada gambar 3.1. berdasarkan *Code Letter* yang tertera pada *nameplate*, kita menggunakan standart NEMA seperti pada table dibawah ini.

Table 2. Name Plate Mesin Motor Radiator

Code Letter	Loked Rotor(kVA/HP)		Code Letter	Loked Rotor(kVA/HP)
A	0 – 3,15		L	9,00 – 10,00
B	3,15 – 3,55		M	10,00 – 11,20
C	3,55 – 4,00		N.	11,20 – 12,50
D	4,00 – 4,50		P	12,50 – 14,00
E	4,50 – 5,00		R	14,00 – 16,00
F	5,00 – 5,60		S	16,00 – 18,00
G	5,60 – 6,30		T	18,00 – 20,00
H	6,30 – 7,10		U	20,00 – 22,40
J	7,10 – 8,00		V	22,40 dst
K	8,00 – 9,00			

Perhitungan arus ini didasari dari daya semu denga rumus sebagai berikut:

$$S_{start} = (rated\ horse\ power) \times (code\ letter) \quad (1)$$

Untuk menentukan arus start digunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{start} = \frac{S_{start}}{\sqrt{3} \times V_{phasa}} \quad (2)$$

Kedua rumus diatas, kita dapat menghitung arus starting pada motor radiator PLTSa Surakarta sebagai berikut :

Diketahui :

Rated horse power = 7,5 HP

Code Letter = F : 5,00 – 5,60 kVA/HP (Menurut NEMA pada table 2)

$$S_{start} = (rated\ horse\ power) \times (code\ letter)$$

$$S_{start} = 7,5\ HP \times 5,60 \frac{kVA}{HP}$$

$$S_{start} = 42\ kVA$$

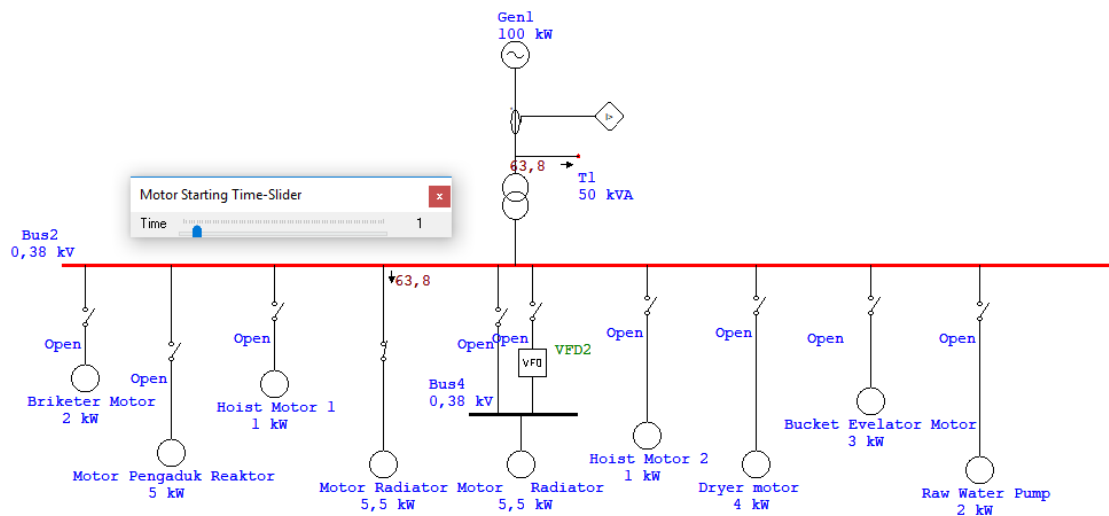
$$I_{start} = \frac{S_{start}}{\sqrt{3} \times V_{phasa}}$$

$$I_{start} = \frac{42000}{\sqrt{3} \times 380}$$

$$I_{start} = 63,8 \text{ A}$$

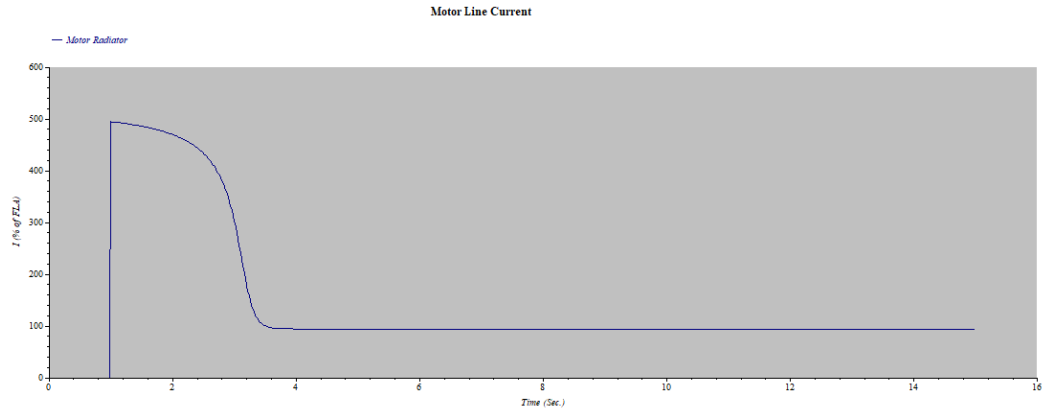
Jadi, arus starting saat motor pada kondisi DOL (*Direct On Line*) atau belum adanya pengasutan sebesar 63,8 A.

Hasil tersebut dapat dilihat juga pada hasil ETAP dibawah ini.



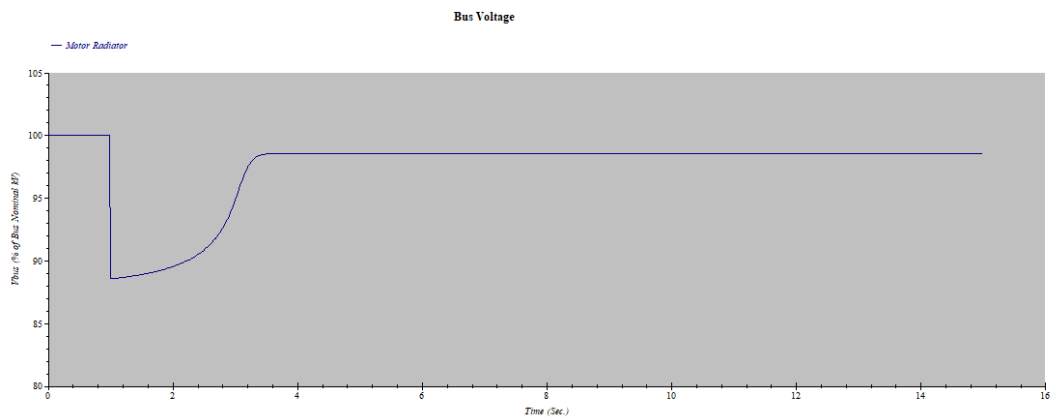
Gambar 3. Starting motor metode DOL

Melihat hasil simulasi ETAP tersebut, motor dapat dikatakan starting langsung atau tanpa pengasutan dapat dilihat dari pengaturan motor mesin radiator itu sendiri, pada menu Star-dev, dipilihlah type “None”. Ketika *starting* atau pada detik ke1, motor arusnya mencapai 63,8A. Hasil tersebut sama dengan hasil pada perhitungan secara manual yang mencapai arus 63.8A. Saat awal starting pada bus 2 berwarna merah, itu menandakan bahwa tegangan pada bus tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi kritis tersebut merupakan arus yang berlebih yang menyebabkan ketidakseimbangan pada busbar sehingga dapat merusak peralatan lain dan motor itu sendiri menyebabkan umurnya pendek atau cepat rusak jika dibiarkan secara terus menerus. Kondisi tersebut akan berlangsung selama 3 detik, dan akan stabil seperti pada hasil kurva ETAP dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Arus starting metode DOL

Ketika detik pertama atau saat motor dinyalakan, arus akan 495% dari FLA, sehingga nilai arus tersebut adalah 4,95 kali arus nominalnya. Berdasarkan *nameplate* nilai arus nominalnya adalah 12,9A , sehingga nilai arus yang terbaca pada gambar 3.3 adalah $12,9A \times 4,95 = 63,8A$. Arus tersebut sama dengan arus perhitungan secara manual, yaitu 63,8A.



Gambar 5. Grafik Tegangan starting metode DOL

Kondisi kritis yang lain disebabkan turunnya tegangan seperti yang tertampil pada gambar 3.4 grafik tegangan starting metode DOL. Saat starting tegangan turun di 12% dari nilai kV atau sebesar 45.6V. Penurunan tersebut melebihi batas toleransi turunnya tegangan yaitu sekitar 5 – 10%. (Hasibuan, Arnawan., Hamdani, 2019). Turunnya tegangan secara drastis tersebut yang menyebabkan kedip tegangan pada peralatan. Jika dibiarkan terus menerus akan merusak peralatan.

3.2.2 Arus Starting metode Pengasutan Star-Delta

Penentuan arus starting dengan pengasutan Star-Delta dapat dilihat dengan turunan rumus – rumus dibawah ini :

Table 3. Perbandingan Rumus Rangkaian Star dan Delta

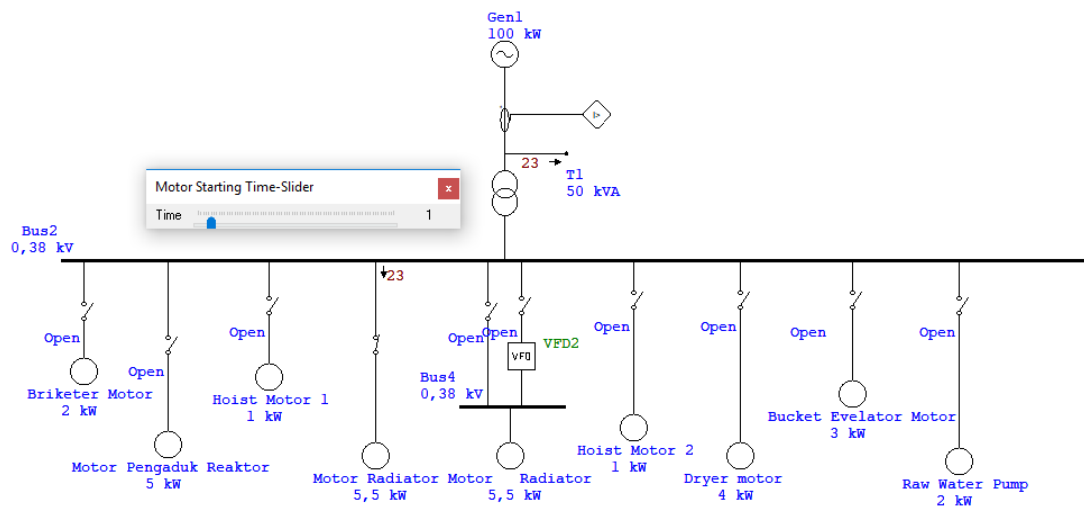
Rangkaian Star (Y)	Rangkaian Delta(Δ)
$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$	$V_{ph} = V_L$
$I_{ph} = I_{LY}$	$I_{ph} = \frac{I_{L\Delta}}{\sqrt{3}}$
$I_{LY} = \frac{V_{pk}}{Z} = \frac{V_L}{\sqrt{3}xZ}$ $= \frac{\sqrt{3}}{3} \frac{V_L}{Z}$	$I_{L\Delta} = \sqrt{3}xI_{ph} = \sqrt{3} \frac{V_L}{Z}$
$\frac{I_{LY}}{I_{L\Delta}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3} \frac{V_L}{Z}}{\sqrt{3} \frac{V_L}{Z}} = \frac{\sqrt{3}}{3} x \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1}{3}$	

Melihat turunan rumus diatas, dapat dilihat bahwa arus star (I_{LY}) adalah tiga kali lebih kecil dari arus deltanya ($I_{L\Delta}$). Hal ini juga sama dengan ketika menggunakan rangkaian star-delta, arus start akan sepertiga lebih kecil dari arus start rangkaian DOL. Sehingga,

$$I_{start} = \frac{1}{3} x 63,8A$$

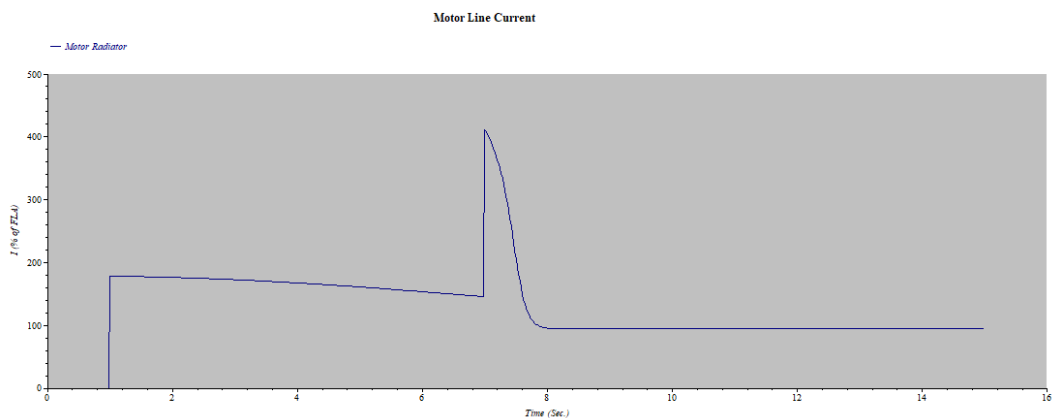
$$I_{start} = 21,3 A$$

Berdasarkan simulasi ETAP, didapatkan arus *starting* pada pengasutan star delta sebesar 23A, itu merupakan sepertiga dari arus starting ketika belum dilakukan pengasutan. Berikut merupakan hasil rangkaian dari ETAPnya. Sekilas, hasil dari ETAP tersebut tidak berbeda dengan hasil ETAP tanpa pengasutan. Perbedaan tersebut terletak pada pengaturan menu star-dev dipilih type Y/D, setelah itu isi parameter sesuai dengan kebutuhan motor. Sehingga jika tidak dilihat dari pengaturan motor mesin radiator, hasil ETAP terlihat sama saja ketika saat langsung atau dengan pengasutan.



Gambar 6. Rangkaian Starting Motor Metode Star - Delta

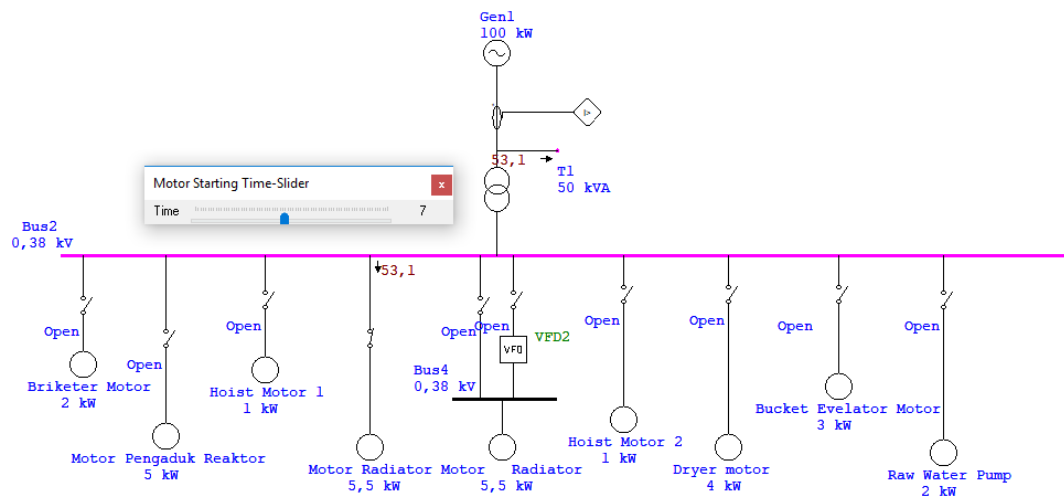
Berdasarkan gambar 3.4, busbar 2 tidak mengalami fase kritis seperti pada saat starting dengan metode DOL. Hal ini membuktikan bahwa ketika *starting* dilakukan dengan metode pengasutan, maka arus akan lebih rendah sehingga tidak menyebabkan gangguan terhadap peralatan listrik lainnya. Nilai arus *starting* lebih rendah dari yang awalnya 63,8A menjadi 23A. Penurunan nilai arus tersebut mencapai 40,8A atau hampir sepertiga dari arus sebelum dilakukan metode pengasutan. Hasil tersebut sesuai dengan teori perhitungan penurunan rumus pada table 3.2.



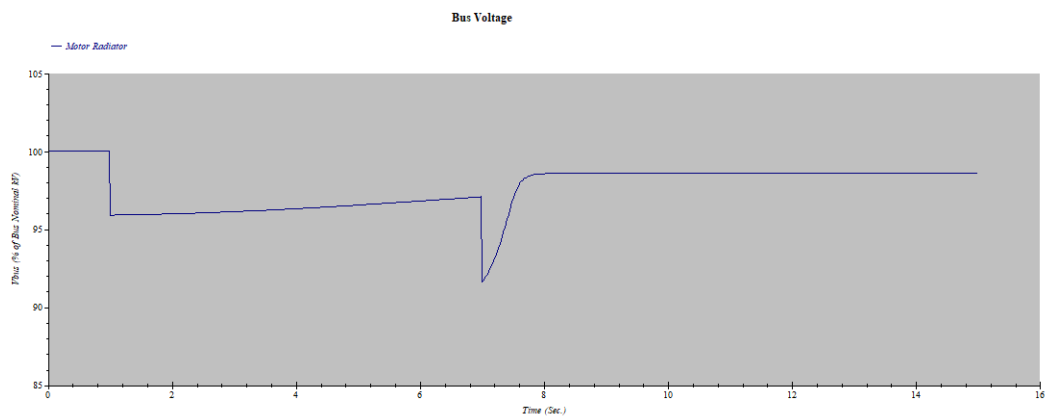
Gambar 7. Grafik Arus starting metode Star-Delta

Ketika motor dinyalakan atau pada detik pertama, nilai arus sebesar 178% dari FLA. Hal tersebut membuktikan bahwa penurunan nilai arus pengasutan

hampir 70% dari nilai arus *starting* ketika menggunakan metode DOL. Detik ke 7, arus kembali naik sebesar 400% dari FLA, namun kondisi tersebut masih dalam batas toleransi dan hanya serlangsung selama 0,14 detik. Arus tersebut bisa kembali naik karena adanya proses pergantian dari kondisi star ke delta. Ketika mengalami kenaikan tersebut pada ETAP terlihat busbar berwarna merah muda, itu menandakan bahwa tegangan masih dalam batas toleransi seperti yang terlihat pada *single line* berikut ini.



Gambar 8. Grafik tegangan bus starting metode Star-Delta

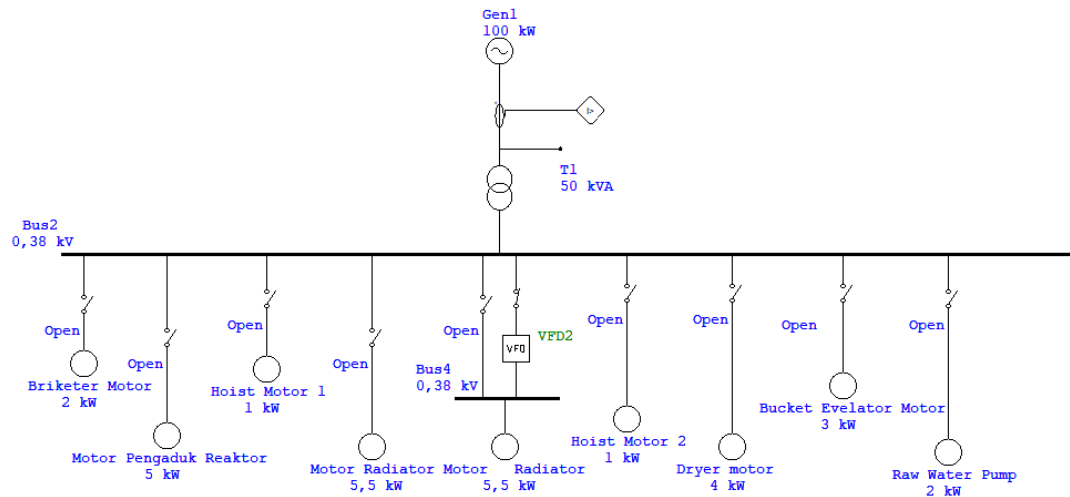


Gambar 9. Rangkaian Starting Motor Metode Star – Delta ketika mengalami lonjakan

Tegangan pada metode pengasutan ini cenderung stabil. Saat *starting* hanya turun 4% saja. Hal tersebut masih dalam batas toleransi.

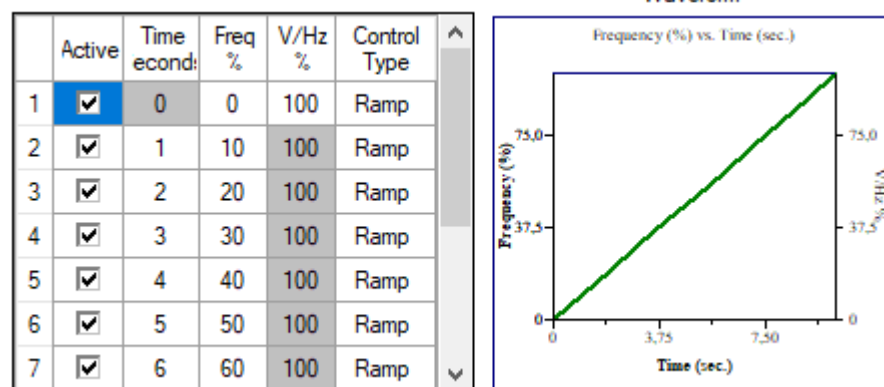
3.2.3 Arus Starting Metode VFD (*Variable Frequency Drive*)

Starting dalam metode ini tidak dihitung secara rumus perhitungan karena beberapa parameter tidak ada, namun dalam metode ini bisa disimulasikan dalam ETAP serta dapat mengetahui parameter-parameternya seperti dibawah ini.



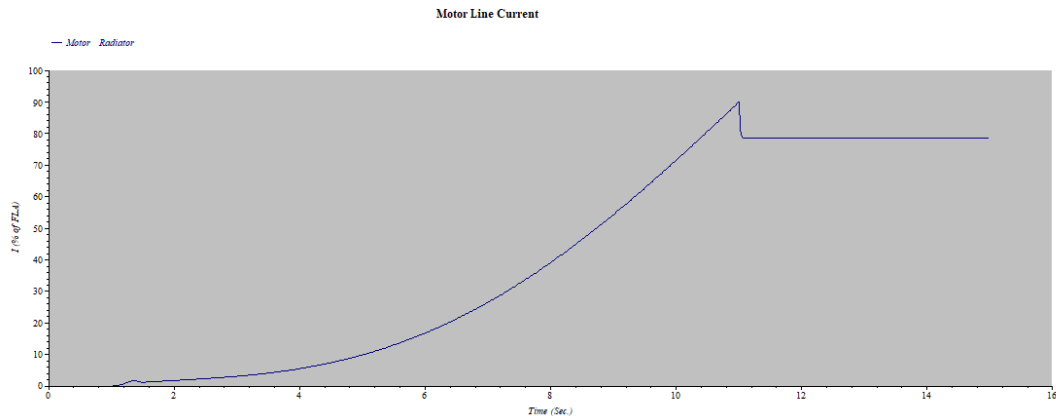
Gambar 10. Rangkaian Starting Motor Metode VFD

Pengaturan metode VFD dilakukan pada menu VFD star-dev dengan cara menyamakan atara rasio perbandingan dari tegangan dan frekuensi selalu sama hingga membentuk grafik seperti berikut.



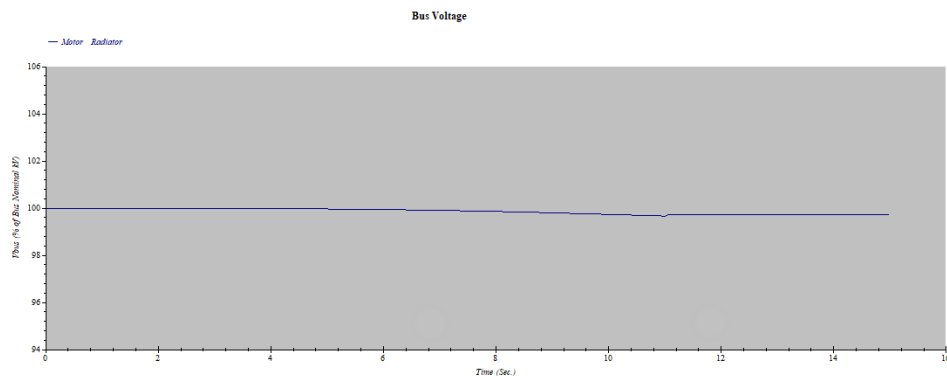
Gambar 11. Rasio Perbandingan

Hasil dari pengisian rasio tersebut akan didapatkan grafik-grafik parameter yang dibutuhkan sebagai berikut.



Gambar 12. Grafik arus metode VFD

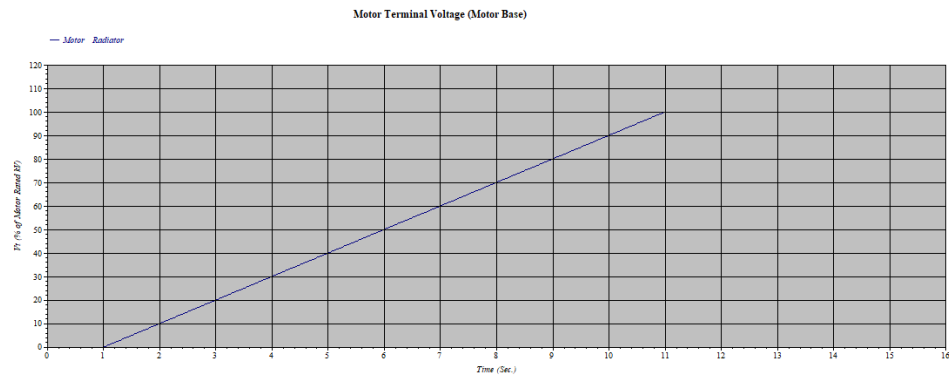
Ketika starting atau pada detik pertama, dapat dilihat bahwa arus dimulai dari 1% dari FLA dan terus naik secara perlahan hingga mencapai 90% dari FLA atau mencapai $0,9 \times 12,9A = 11,61A$.



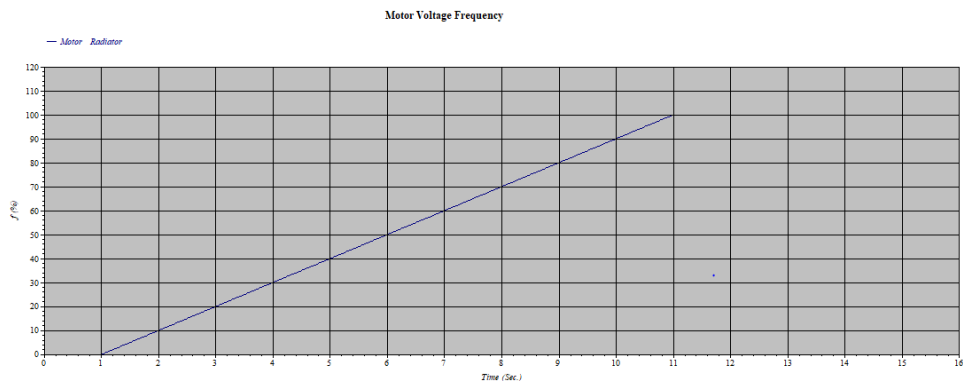
Gambar 13. Grafik tegangan bus starting metode VFD

Berdasarkan gambar 13, grafik tegangan bus *starting* metode VFD, tegangan pada busbaranya cenderung stabil. Saat *starting* berada pada tegangan 100% dari 380V. Tegangan mengalami penurunan sekitar 1% saja, atau tidak ada penurunan tegangan yang signifikan. Prinsip kerja dari VFD adalah dengan menjaga agar nilai tegangan motor dan nilai frekuensinya sebanding $\left(\frac{V}{f}\right)$. Perbandingan tersebut akan mendapat rasio sebesar $\left(\frac{V}{f} = \frac{380V}{50Hz} = 7,6 V/Hz\right)$. Rasio tersebut membuat tegangan awal saat starting motor menyesuaikan frekuensi awal. Apabila frekuensi awal kecil maka tegangan juga akan kecil,

karena tegangan kecil pada starting motor menggunakan VFD maka arus yang terjadi akan kecil, apabila arus yang terjadi kecil saat proses *starting* motor maka daya semu (VA) yang terdiri atas daya aktif (W) dan daya reaktif (VAR) yang dibutuhkan oleh motor juga akan kecil sehingga akan meminimalisir terjadinya *voltage dip* (Sunu Muklis Budiaji,2018). Berikut merupakan grafik perbandingan antara tegangan motor dan frekuensi.



Gambar 14. Grafik tegangan motor starting metode VFD



Gambar 15. Grafik frekuensi starting metode VFD

Berdasarkan gambar 14 dan gambar 15 grafik tegangan motor dan grafik frekuensinya, dapat dilihat perbandingan rasionya. Seperti yang telah ditulis diatas, perbandingan rasio pada motor ini adalah $7,6 \text{ V}/\text{Hz}$. Dapat dilihat pada detik ke 3, tegangan berada di 20% dari nilai tegangan nominal motornya, sedangkan frekuensinya berada pada 20% dari nilai frekuensi. Sehingga $\frac{V}{f} = \frac{20\% \times 380V}{20\% \times 50\text{Hz}} = 7,6 \text{ V}/\text{Hz}$. Berikut juga pada detik – detik yang lain rasio perbandingannya akan selalu sama dan menunjukkan bahwa VFD bekerja dengan baik.

4 PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Melihat hasil dan pembahasan mengenai pengasutan arus pada mesin motor radiator PLTSa Surakarta, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Arus *starting* ketika menggunakan metode DOL (*Direct On Line*) dapat mencapai 5 kali arus nominal motor. Tenggangan busbar mengalami penurunan sebesar 12%. *Starting* dengan metode ini sebaiknya tidak dilakukan karena akan bisa merusak sistem.
- 2) Arus *starting* ketika menggunakan metode pengasutan star-delta, arus *starting* akan turun sebesar 70% dari nilai arus *starting* menggunakan metode DOL atau mencapai 1,7 kali arus nominal motor. Penurunan tegangan masih dalam batas toleransi, yaitu 4%. Pengasutan metode ini paling memungkinkan untuk diterapkan karena harganya yang relative murah serta perawatan yang lebih mudah.
- 3) Arus *starting* ketika menggunakan metode pengasutan VFD sangat kecil hanya mencapai 1% dari arus nominalnya dan terus naik secara stabil hingga 90% dari arus nominalnya. Tegangan pada busnya mengalami penurunan 1% . Namun, pengasutan dengan metode ini belum bisa diterapkan pada motor ini, karena memerlukan peralatan lain seperti inverter yang harganya relative mahal dan perawatan yang masih harus menggunakan jasa vendor.

DAFTAR PUSTAKA

- Dedy P, Muhammad, 2017, *Analisis Perubahan Arus pada Starting Motor Induksi 3 Fasa Bintang Segitiga*, Elektronika dan Instrumentasi:Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Hasibuan, Arnawan., Hamdani, 2019, *Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan Terhadap Kerja Motor Induksi Tiga Fasa Berbasis Matlab*, Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Pancabudi, Medan
- Irsyad, Habibul.,Yanto Husodo, 2017, Budi, Budi Yanto Husodo, *Analisa Pengasutan Motor Induksi 3 Fasa 2500 KW Sebagai penggerak FAN pada Bag Filter*, Teknik Elektro, Universitas Mercubuana, Jakarta

- Kadir, Abdul, *Mesin Arus Searah*, Jakarta:Djambatan, 1984
- Liang, X., Laughy, R., Liu, J., 2007, *Investigation of Induction Motor Starting and Operation with Variable Frequency Drives*, journal of IEEE
- Lilikwatil, Yakob, *Mesin–Mesin Listrik*,Edisi1,Cetakan1,Yogyakarta:Deepublish, Maret 2014
- Muklis Budiaji, Sunu, 2018, “*Perencanaan Penggunaan Variable Frequency Drive pada Starting Motor Low Pressure Feed Water Pump di PLTGU Grati*”, Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Sofyar, 2016, *Teknik Konservasi Energi untuk Pemompaan Air Menggunakan Variable Frequency Drive*, Thesis, Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.